心理学报 2020, Vol. 52, No. 12, 1377−1392
Acta Psychologica Sinica

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1041.2020.01377

英汉双语者二语口语产生中音韵编码过程的同化机制*

辛 昕 兰天一 张清芳
(中国人民大学心理学系，北京 100872)

摘 要 本研究运用事件相关电位技术，结合时空微态分割分析法，考察英汉双语者二语口语产生过程中音韵编码过程的同化与顺应机制。研究中采用图词干扰即时命名任务，比较英汉双语者的汉语产生过程中音韵编码的加工单元与汉语母语者的汉语产生过程还是与英语母语者的英语产生过程的特点类似。反应时结果发现汉汉组、英汉组与英英组都出现显著的音节效应。事件相关电位的结果发现英汉双语者的汉语产生过程中出现了音素效应，与其英语产生过程的特点类似，音素效应在英语和汉语的产生过程中都出现在图画呈现后的200~250 ms之间，而汉语母语者的汉语产生过程中仅发现了音节效应，出现在250~300 ms之间。时空微态分割分析发现英汉双语者在汉语产生的音韵编码过程与英语母语者在英语产生过程所对应的脑电微态成分相同，仅在持续时间上存在显著差异；其微态成分不同于汉语母语者的汉语产生过程。上述结果表明英汉双语者汉语产生的音韵编码过程与英语作为母语时的产生过程相似，而与汉语作为母语时的产生过程不同。英汉双语者的汉语产生过程采用了母语同化机制。
关键词 双语者，音韵编码，同化，顺应
分类号 B842

1 前言

双语者指掌握并能使用两种语言的个体(Fabbro, 1999)。双语者的第二语言加工过程是否会受到母语的影响，是研究者们重点关注的问题之一。Perfetti 等(2007)根据双语者母语和第二语言加工的神经机制是否相同，提出了有关二语加工模式的同化与顺应假设(assimilation and accommodation hypothesis)，认为二语加工过程中存在同化和顺应两种不同的机制。同化机制指双语者采用母语策略(overlapping system)加工二语，被试表现为二语加工和加工母语的神经模式类似；顺应机制指双语者采用二语的加工系统(additional system)加工二语，表现为二语加工与二语这门语言为母语时的加工模式类似。

1.1 双语加工中的同化与顺应机制

双语者加工二语时表现出同化还是顺应机制，所比较的对象是两种语言作为母语时的认知神经机制。研究发现，语言的正字法透明度影响了母语者语言加工的脑激活模式。正字法透明度指的是从字素到音素的形音匹配程度的规则性(Liberman et al., 1980)。正字法透明度高指语言中的一个字素与一个音素匹配(如意大利语)，正字法透明度低指语言中一个字素与多个音素匹配，或者是一个音素对应多个字素(如英语) (Katz & Frost, 1992)。研究发现在阅读和命名任务中，意大利母语者比英语母语者更多的激活左侧颞顶区，该区域主要涉及音素加工。英语母语者则表现出更多的激活于左侧后颞

收稿日期: 2020-01-16
* 北京市社会科学基金重点项目(16YYA006)，中国人民大学预研委托(团队基金)人才培育类项目(18XNLG28)资助。
通信作者：张清芳。E-mail: qingfang.zhang@ruc.edu.cn

下回和左侧额下前回，而该区域主要涉及词汇检索(Paulesu et al., 2000)。

双语者加工二语的脑激活模式是与自己的母语相似还是与二语(作为母语时)类似，这与两种语言正字法透明度的相对高低有密切关系。印地语的正字法透明度高于英语，Das 等(2011)发现印地语–英语双语者在印地语阅读过程中左侧顶下小叶表现出更高的激活，而在英语阅读中左侧颞下回的激活程度更高。Jamal 等(2012)在西班牙语–英语双语者(前者的正字法透明度高于后者) 研究中发现，当被试阅读西班牙词汇时左侧颞中回和颞上沟的激活更强，这两个脑区涉及语义加工，在阅读英语词汇时左侧额中回和额上回的激活更强，这两个脑区在语音加工中起着重要作用。Nelson 等(2009)在英语–汉语双语者(英语的正字法透明度高于汉语)研究中发现，被试在阅读英语词汇时激活了大量的左侧梭状回区域，这一区域可能涉及语义加工，但在阅读汉语时则发现了双侧梭状回区域的激活。Liu 和 Cao (2016)采用元分析发现在双语加工中，如果双语者的二语比一语的正字法透明度高，则更多激活了双侧听觉区和中央前区，这些区域主要负责视听感觉和语音编码，表明双语者加工二语时采用了同化机制。如果一语比二语正字法的透明度高，则更多激活了左前额叶区域，表明对二语的形音匹配加工需要付出更大的努力，说明双语者加工二语时采用了顺应机制。

尽管如此，双语者二语语音加工任务中有关同化与顺应机制的研究结论并不一致。采用双耳分听声调判断任务，Wang 等(2001)发现具有声调经验的汉语被试在汉语任务中表现出左脑优势，而无声调经验的英语被试则表现出双侧激活的模式。在后续的训练任务中，Wang 等(2003)进一步要求英语母语者学习汉语的声调，结果发现左侧颞上回显著激活，且激活水平与声调学习成绩正相关。研究者推测英语母语者采用汉语模式加工汉语，采用了顺应机制。与此结果不同，Tian 等(2019)考察了母语为英语或印度尼西亚语，第二语言为汉语的被试在出声阅读中形音规则加工过程的神经基础。汉字形音规则指汉字的发音是否与声旁发音相同，相同为规则汉字，不同则为不规则汉字。结果发现，双语者在命名规则汉字的条件下，激活了左侧辅助运动区以及左侧中央前回，而汉语母语者则激活了与正字法加工相关的左侧额下回。根据这一结果，Tian 等(2019)认为双语者是利用音素相关区域和运动区域促进规则汉字的语音加工，表明第二语言为汉语的双语者使用了同化机制加工汉字语音。

同化与顺应机制并不是非此即彼的，有研究比较脑区激活的模式发现双语者的二语加工过程同时采用了同化与顺应机制。Zhao 等(2012)采用不出声命名任务，发现在汉语加工任务中英汉双语者比汉语母语者的双侧枕叶激活更强，表明双语者对汉字进行视觉词形分析，采用了顺应机制加工汉语。不同的是汉语被试的左侧顶下小叶表现出更多背侧区域的激活，而英汉双语被试在汉语任务中左侧顶下小叶表现出更多腹侧区域的激活。已有研究发现左侧顶下小叶背侧的激活与语音存储有关，而腹侧化与精确的字素–音素转换加工(grapheme-phoneme route)有关(Tan et al., 2010)。研究者认为双语者的腹侧激活表明人们把不规则汉字的学习看作是部件–发音对应(Radical-Sound)的规则，类似于英语字素–音素的习得策略。加工策略上的相似性表明英汉双语者采用同化机制加工汉语，二语加工中同时存在同化与顺应机制。

近期有一些研究者采用高时间分辨率的事件相关电位(event-related potential, ERP)技术比较了双语者加工二语的时间进程模式。Timmer 和 Shiller (2012)采用出声阅读任务，通过启动范式设置启动词和目标词之间的正字法–语音相关条件。发现荷兰语–英语双语者和英语母语者脑电模式基本相似，双语者和英语母语者都在 120~180 ms 发现了正字法效应，180~280 ms 发现了语音效应。因此，这一结果表明荷兰语–英语双语者在二语加工时表现出了与英语母语类似的加工模式，支持了顺应的观点。王星星(2013)采用图片命名和语义判断任务考察了藏汉双语者汉语产生的语音效应。结果发现，藏汉双语者在汉语字词口语产生过程中信息激活的时间进程为形–音–义，且在时间上存在重叠。研究者认为藏汉双语者的汉语产生特征与藏语母语相似，表明汉语作为二语的产生受到了母语背景的影响，表现出母语同化的认知机制。

综上，已有双语者二语加工的研究主要是采用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI) 技术从认知神经的层面上对此问题进行考察，研究主要发现是二语加工中采用同化抑或是顺应机制受到母语和第二语言特点的影响。很少有研究关注双语者二语词汇产生过程中的加工机制，而词汇产生是从概念通达开始，最后输出语音或者文字的过程，其加工过程与词汇理解不同

(陈宝国 等, 2006; Ferrand et al., 1996; 张清芳, 杨玉芳, 2005)。本研究是从词汇产生过程的角度来考察双语者二语加工的认知神经机制。

1.2 口语词汇产生中音韵编码的单元

口语产生过程包含了概念准备、词条选择、音韵编码、语音编码和发声 5 个主要阶段(Dell, 1986; Levelt et al., 1999)。在音韵编码过程, 讲话者根据词素选择音段和节律结构, 并进行音节化(syllabification), 将音段与节律结构中的音节节点联系起来。在语音编码过程选择音节程序节点为发音做好准备。音韵编码的加工单元一直是言语产生研究的争论焦点之一。

在印欧语言的口语产生中, 大多数研究支持音素是音韵编码的加工单元。在英语语误中, 绝大部分的语音片段插入、遗漏、替代或者置换等错误都来源于音素的变换(例如 york library→lork yibrary, reading list→leading rist), 而较少发现音节变换导致的言语错误(例如 napkin→kinnap) (Dell, 1986)。采用图画−词汇干扰任务(Damian & Martin, 1999; Meyer & Schriefers, 1991)、掩蔽启动范式(Forster & Davis, 1991; Kinoshita & Woollams, 2002; Malouf & Kinoshita, 2007; Schiller, 2008)和内隐启动范式(Damian & Bowers, 2003), 研究者发现与音素不同相比, 音素相同时都会产生显著的反应时加快, 表明音素是音韵编码的单元。

研究者对汉语口语词汇产生的音韵编码过程中音节和音素的作用存在不同看法。汉语作为一种声调语言与字母语言存在很大的不同。首先, 相比英语、荷兰语, 汉语的音节数量很少, 不计声调有 400 个音节左右, 计声调也只有 1200 个左右, 而荷兰语中大约有 12000 个音节(Levelt et al., 1999; 张清芳, 杨玉芳, 2005)。其次, 汉语中的音节边界十分清晰, 不存在重新音节化现象, 而在拼音语言的口语产生中, 会出现大量跨越音节边界重新组合成音节的现象。根据 Levelt 等(1999)的观点, 重新音节化现象是心理词典中不存储音节的主要原因, 而在汉语中更为经济的方式是将所有音节存储起来, 并在音韵编码过程中直接提取。因此汉语的语音特点决定了汉语的主要音韵编码单元更可能是音节, 而非音素。

语误分析发现在汉语中只有极少量的音素错误, 大部分语误都是音节和韵导致的出错(Chen, 2000)。Chen 等(2002)采用内隐启动范式探索汉语双音节词汇产生中的音韵编码阶段, 发现了音节相同条件下的启动效应, 但音素相同条件下无任何效应, 张清芳和杨玉芳(2005)利用图画词汇干扰范式, Chen 等(2003)以及 Chen (2016)采用掩蔽启动范式发现了相似的结果, 这表明无声调的音节在音韵水平上能作为一个独立的计划单元。You 等(2012)利用图画命名和单词命名两种任务均发现了音节启动效应, 为汉语口语中音节是音韵编码单元提供了更强的证据。岳源和张清芳(2015)采用图画−词汇干扰范式, 通过比较即时命名、延迟命名以及延迟命名与发音抑制任务的结合, 考察了汉语口语产生中音节和音段(segments)[1] (多个音素结合形成的一个单元, 其音素个数少于音节)在单词形式编码的不同阶段所产生的效应, 结果表明音节的促进效应发生在音韵编码阶段, 证明了音节是音韵编码过程的合适单元, 音段可能在随后的语音编码阶段起作用。Roelofs (2015)认为汉语产生音韵编码阶段是先提取音节再分解为较小单元的音素(或者音段), 最终在语音编码阶段按照运动指令组合发音。

与上述结果不同, 有些研究发现了粤语口语产生中音段的促进效应。Wong 和 Chen (2008, 2009)采用图画−词汇干扰范式, 在粤语中发现当干扰词与目标词的韵母和声调相同时, 图画命名显著快于无关条件, 因此他们认为粤语口语产生中的主要音韵编码单元可能是音段(同见 Wong et al., 2012)。最近 Wang 及其同事的研究同样发现了音段促进效应, 但更重要的是发现音节是在音段提取之前加工, 支持音节是粤语口语产生中的音韵编码单元(Wang, Wong & Chen, 2017; Wong et al., 2018)。Wong 等(2012)选取的粤语被试是来自香港的大学生, 具有较高的英语水平, 研究者认为对于英语这种字母语言的过早暴露, 可能是导致被试的粤语加工模式更接近英语母语的原因, 从而能够更加敏感的操作亚音节水平作为音韵编码的计划单元。

也有事件相关电位的研究发现了音素效应。Qu 等(2012)采用音素重复任务(如首音素重复的“黄盒子”和首音素不重复的“绿盒子”), 在图画呈现后的 200~300 ms 之间发现了首音素重复效应, 表明音素信息在音韵编码阶段也会被激活(同见 Yu et al., 2014)。O’Seaghdha 等(2013)等指出 Qu 等发现的 ERP 波形的差异可能仅仅反映了颜色词和目标词

[1] 音段(segmental units)在汉语中指的是亚音节语音表征单元(sub-syllabic units) (Bakovic, 2014)。例如, 对于一个 CVG (G 表示 glide) 结构的汉语音节 /qing/, 可以划分为两个音段, 首 CV 结构的/qi/和尾音段 VG 结构的/ing/

在首音素相同时的联结，并不能表明音素是音韵编码的单元。Wang, Wong, Wang 等(2017)的研究在关键试次中先后呈现两幅图片，两幅图片存在音节相关、音段相关或无关关系。要求被试在看到第一幅图片和第二幅图片(目标图)时均先不要命名，当提示线索出现时才对图片进行口语命名(即延迟命名任务)。研究在目标图画呈现后的 200~400 ms 与 400~600 ms 发现了音节相关效应，却未发现任何音段相关效应。Zhang 和 Damian (2019)采用掩蔽启动范式，首次在汉语普通话的口语词汇产生过程中同时探测到了音节效应(300~400 ms)和音段效应(500~600 ms)，基于元分析中各个阶段对应的时间进程(Indefrey, 2011)，研究者认为这两个效应可能分别发生在音韵编码阶段和语音编码阶段，表明汉语口语音韵编码的单元可能是音节而不是音素(类似的加工模式见 Cai et al., 2020; Feng et al., 2019; 张清芳, 王雪娇, 2020)。

1.3 英汉双语者汉语口语词汇产生中的音韵编码单元

综上，多数研究者认为汉语口语词汇产生中音韵编码过程最先激活的单元是音节。与此同时，研究发现双语者的音韵编码过程会受到双语者语言的影响，尤其是第一语言的经验可能对第二语言的加工过程产生影响(Qu et al., 2012; Wang, Wong, & Chen, 2017; Wong et al., 2018; Verdonschot et al., 2013; Nakayama et al., 2016)。Verdonschot 等(2013)选取熟练英汉双语者完成英语和汉语两种语言的启动任务，发现了汉语任务中的启动词与目标词音节结构相同时的首音素启动效应，表明母语可能影响了二语的加工过程。Nakayama 等(2016)选取二语熟练度不同的日英双语者，在掩蔽启动范式下要求被试出声朗读英语单词。启动词和目标词只有起始音素重叠(e.g., bark-BENCH)，或者辅音元音(CV)重叠为日语中的莫拉单元(e.g., bell-BENCH)。结果发现低熟练度的日英双语者表现出 CV 启动效应，但未发现音素启动效应，即他们产生第二语言英语词汇时使用音节为音韵编码单元，这可能是由于第一语言日语中的音韵编码单元对第二语言的音韵编码单元造成影响，双语者音韵编码的单元受到了二语水平的调节。

现有关于汉语口语词汇产生中音韵编码单元的研究仅关注了汉语作为母语的加工过程，而对于汉语作为第二语言产生时这一过程的认知机制尚未有研究进行探索。在二语习得认知神经机制的研究中，主要关注了汉语作为第二语言时的词汇理解过程(Timmer & Shiller, 2012; Liu & Cao, 2016; Zhao et al., 2012)，通过比较脑区激活模式的相似性考察二语理解的同化与顺应机制，从词汇产生过程角度进行探索的研究很少。而且，已有有关同化与顺应机制的研究多采用 fMRI 技术比较脑区激活模式，很少有研究从时间进程的模式上进行考察。

本研究采用图画词汇干扰范式，利用事件相关电位技术，考察汉语作为第二语言时的音韵编码单元及其时间进程。实验中选取了两组被试，包括母语为字母语言的英汉双语者和汉语普通话为母语的中国被试，变化干扰词与目标图片名称的关系，包括音节相关、音素相关和无关三种条件。与汉语相比，英语的形音匹配规则较为一致，正字法透明度较高；而汉语中字形与语音之间的匹配是不透明的，两类语言形成了较为鲜明的对比。另一方面，已有研究一致地表明英语和汉语的音韵编码分别为音素(Damian & Bowers, 2003; Schiller, 2008)和音节(Feng et al., 2019; Zhang & Damian, 2019)，采用这两种语言可以考察母语对第二语言音韵编码单元的影响。实验中要求英汉双语者完成英语和汉语口语词汇产生任务，汉语被试仅完成汉语口语词汇产生任务。我们通过比较汉语作为二语产生时的行为模式和脑电模式(详见数据分析部分)类似于汉语母语者还是英语母语者考察词汇产生过程的同化与顺应机制。如果英汉双语者的汉语词汇产生模式与汉语母语者的模式更为相似，则支持顺应机制，如果与英语的词汇产生模式更为相似，则支持同化机制。

2 方法

2.1 被试

汉语母语被试 22 人(13 名男性, 9 名女性，平均年龄 21.9 岁)，英汉双语被试 18 人(13 名男性，5 名女性，平均年龄 22.9 岁)，两组被试在年龄上无显著差异(t = 1.35, p = 0.19)，均为在校大学生。英语母语被试为外籍留学生，是晚期英汉双语者，学习汉语至少 3 年以上，平均学习汉语年龄 18 岁开始，均具有 1 年以上的中国留学经历，通过汉语水平考试(HSK)5 级及以上。所有被试无脑部疾病史，视力或矫正视力正常，在实验前阅读知情同意书并签字，实验后获得一定报酬。

2.2 材料

汉语命名材料。32 幅黑白线条图片，选自张清

芳和杨玉芳(2003)建立的汉语图片命名的图片库，正式实验图片为 25 幅，练习图片 7 幅，名称均为单音节词，每幅图片匹配 3 种类型的干扰字。例如，图片名称为“船” (/chuan2/)，分别匹配 3 种干扰词：1) 音节相关词与目标图片名称音节完全相同而声调不同，如“穿” (/chuan1/)；2) 音素相关词与目标图片名称的首音段或者首音素组合相同，声调不同，即与目标图片名称的头两个音素相同(CV 相关)，如“吃” (/chi1/)；3) 无关词与目标图的名称无语音相关，如“杯” (/bei1/)。3 种条件下的干扰词与目标词之间均无任何语义和正字法上的联系，且干扰词的词频(王还等，1986)和笔画数匹配，统计结果无显著差异，字频：$F(2, 72) = 1.21, p = 0.31$；笔画数：$F(2, 72) = 0.51, p = 0.60$。

英语命名材料。32 幅黑白线条图片选自 Snodgrass 和 Vanderwart (1980)标准化的英语图片命名的图片库，正式实验图片为 25 幅，练习图片 7 幅，名称均为双音节词，音节结构为 CV 或 CCV (C 表示辅音，V 表示元音)。例如，图片名称为“penguin (/ˈpeŋgwɪn/)”分别匹配 3 种干扰词 1) 音节相关词与目标图片名称首音节相同，例如“pencil (/ˈpensl/)”；2) 音素相关词与目标图片名称的首音素相同，例如“pilot (/ˈpaɪlət/)”; 3) 无关词与目标图的名称无语音相关，例如“orbit (/ˈɔ:bɪt/)”。3 种条件下干扰词的词频和音节长度匹配，统计结果无显著差异，词频：$F(2, 72) = 0.93, p = 0.40$；音节长度：$F(2, 72) = 0.35, p = 0.71$。

2.3 设计

研究中要比较英汉双语者汉语图画命名的过程与英语图画命名过程类似，还是与汉语母语者的图画命名过程类似，两组被试共获得 3 组数据，分别为汉语母语者用汉语命名图片(简称为“汉汉组”)，英语母语者用英语(简称为“英英组”)和汉语(简称为“英汉组”)命名图片。根据数据分析的思路，研究中包括了两类实验设计。第一类是两因素混合设计，包括了汉语是作为母语还是二语(简称为“汉语类别”，包括汉汉组和英汉组)和干扰词与图片名称之间的语音相关类型(音节相关，音素相关，无关)两个自变量，第一个自变量为被试间因素，第二个自变量为被试内因素。第二类是两因素被试内设计，包括了英汉双语者的目标语言(英英组和英汉组)和干扰词与图片名称之间的语音相关类型(音节相关，音素相关，无关)两个自变量，均为被试内因素。

25 幅实验图片和 7 幅练习图片都与 3 种不同的干扰字搭配后形成了 75 个实验配对和 21 个练习配对，因此，每组包括 21 次练习试次和 75 次实验试次。为了得到足够多的叠加次数，每组测试重复了 3 次，图画呈现的顺序是伪随机的：同一幅图画至少间隔 5 幅其它图画后再次呈现，图画名称声母相同或者声旁相同的不会连续出现，各个条件下相同的干扰词不会连续呈现。每个被试 3 组中测试的试次序列是不同的，每组之间有休息。英汉双语被试一半先完成母语命名任务，一半先完成汉语二语命名任务。

2.4 仪器

实验由 E-prime 2.0 心理学实验程序编写，被试出声命名，设置麦克风接收语音信号，通过 PST-SRBOX 反应盒记录声音信息，录音笔记录被试反应。收集脑电数据时，被试需配佩戴脑电帽(Quick Cap)，通过 Neuroscan 软件及硬件设备记录数据。

2.5 程序

被试端坐在距离电脑屏幕 70 cm 处进行实验。正式实验开始之前，在屏幕中央依次呈现每幅图片及其对应名称(汉语或英语名称)，呈现时间为 2 秒，共 50 幅。告知被试正式实验会呈现这些图片，要求被试尽可能记住图片对应的名称。如若被试对某一图片的名称错误命名，则对其进行纠正，并强调记住相应名称。一般来说，因为这些图片都是日常生活中常见的命名一致性很好的图片，被试对图片的命名与程序中给出的名称是一致的。

正式实验中每一个试次的流程如下：首先屏幕中央呈现注视点“+”800 ms，再呈现 500 ms 空屏，然后同时呈现图和词(词在图中央)，要求被试忽略出现的词，准确而迅速地说出图画的名称，被试做出反应的同时图片与干扰词消失，再间隔 800~1000 ms 的空屏，主试控制按键进入下一个试次。每组被试完成实验试次数和实验时间有差别。汉语母语被试仅完成汉语材料。英汉双语被试需要完成英语命名和汉语命名，语言种类的材料顺序在被试间平衡，一半被试先做英语命名再做汉语命名，一半被试先做汉语命名再做英语命名。英汉双语被试需要完成 492 个试次，时长约 42 分钟，每完成一组(约 7 分钟)休息一次。

2.6 EEG 记录与分析

脑电信号由 Neuroscan 系统进行采集，64 导银、氯化银电极以国际通用的 10-20 方式固定于电极帽上。左侧乳突作为参考电极，额头中央连接接地电

极。位于左眼上下眶的电记录垂直眼电(VEOG), 位于左右眼角外 1 cm 处的电极记录水平眼电(HEOG)。电极与头皮之间的阻抗小于 5 kΩ。信号经放大器放大, 滤波带通为 0.05~70 Hz, 采样频率为 500 Hz。

记录的 EEG 数据导入 MATLAB (MathWorks), 利用 EEGLAB 软件包(Delorme & Makeig, 2004)进行离线处理。首先对脑电数据进行双侧乳突的重新参考(Wang et al., 2011; Zhang & Zhu, 2011)。分别对数据进行 30 Hz (24 dB/oct)的低通滤波以及 0.1 Hz 的高通滤波, 再按照目标图呈现前 100 ms 和呈现后 600 ms 对脑电数据进行分段, 前 100 ms 作为基线进行基线校正, 在伪迹校正中将波幅超过 ±100 μV 去除, 以排除无关伪迹的影响。

选取半球(前和后)和偏侧化(左、中、右) 6 个兴趣区进行分析, 其中每个兴趣区(region of interest, ROI)波幅值是 3 个电极点的平均波幅: 左前(F3, FC3, C3), 中前(Fz, FCz, Cz), 右前(F4, FC4, C4); 左后(CP3, P3, PO3), 中后(CPz, Pz, POz), 右后(CP4, P4, PO4)区域。将每个时间窗口的平均波幅根据两种实验设计分别进行分析。(1) 2(汉语类别: 汉汉组、英汉组)× 2(语音相关类型: 音节相关、音素相关、无关) × 2(半球: 前、后) × 3(偏侧化: 左、中、右)的重复测量方差分析; (2) 2(目标语言: 英英组、英汉组) × 2(语音相关类型: 音节相关、音素相关、无关) × 2(半球: 前、后) × 3(偏侧化: 左、中、右)的重复测量方差分析。重复测量方差分析中球形性假设不成立时, 使用 Greenhouse-Geiss 法校正。利用 R 软件中的 fdrtool 安装包, 在多重比较中采用控制错误发现率校正法对 *p* 值进行校正(false discovery rate, FDR, Yekutieli & Benjamini, 1999)。

采用 Cartool 软件(Brunet et al., 2011)进行时空微态分割分析, 使用了汉汉组、英汉组与英英组内音节相关条件、音素相关条件以及语音无关条件下被试的总平均数据。这一分析方法是利用层次聚类分析(modified hierarchical clustering analysis)和聚合层次聚类法(agglomerative hierarchical clustering)来确定对不同条件之间的总平均数据解释力度最大的地形图成分。结合交叉验证(cross-validation)和 Krzanovski-Lai 准则(Michel et al., 2001; Murray et al., 2008)来确定不同条件下能够最好的解释总平均数据的最优地形图数量。然后采用统计平滑去除解释力较低、时间孤立的地形图。两个地形图之间的相关性达到 90%以上即融合为一个地形图, 持续时间小于 10 ms 则拒绝该地形图。再利用 Ragu 软件包(Koenig et al., 2011)对在 Cartool 软件中分割得到的微态地形图数据进行非参数置换检验(Koenig et al., 2014)。首先, 将每个被试在每个条件下的 ERP 数据进行条件间以及被试组间的重新随机分配, 组合成新的总平均的数据, 再对新的总平均数据进行微态拟合, 并提取微态特征(持续时间等参数)。随后经过 5000 次的重新组合与计算, 可以建立零假设条件下的微态特征的差异分布。最后, 将真实情况下各个条件间的总平均数据与零假设分布进行比较, 从而直接得到 *p* 值, 不需要进一步的统计分析。

3 结果

4 名汉语被试由于无关伪迹太多而被剔除。最终分析 18 名汉语母语被试(11 名男性, 7 名女性), 18 名英汉双语被试(13 名男性, 5 名女性)。

3.1 行为数据

两组被试共获得 3 组数据, 删除反应时快于 300 ms 或者慢于 2000 ms 的数据, 以及偏离各条件下平均值 3 个标准差以外的试次, 汉汉组、英英组和英汉组分别删除了 2.5%, 3.0%。和 3.3%的数据。图 1 中表示了 3 组数据的平均反应时。

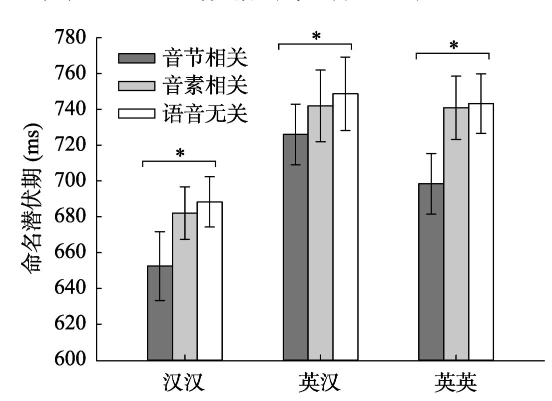


图 1 汉汉组、英汉组和英英组图画命名的潜伏期(* $p < 0.05$)

使用 R 软件(R Development Core Team, 2009)中 lme4 安装包的 lmer 程序(Bates et al., 2015)进行固定和随机效应的分析。使用限制最大似然估计法查找对观测数据实现最佳拟合模型的最优参数估计。模型拟合主要包括 3 个步骤: 首先, 指定一个只包含随机因素(被试和项目)的零模型; 第二, 通过添加固定因子来丰富零模型。在已有模型的基础上, 逐步增加两个自变量及其交互作用。第三, 使用卡方检验将新建立的模型与之前的模型进行比

表 1　三组混合效应模型的固定效应

自变量	汉汉-英英组				汉汉-英汉组				英英-英汉组			
	β	*SE*	*t*	*p*	*β*	*SE*	*t*	*p*	*β*	*SE*	*t*	*p*
截距	607.41	39.54	15.36	<0.001	585.01	38.90	15.04	<0.001	672.80	25.69	26.22	<0.001
目标语言	—	—	—	—	67.65	24.21	2.80	0.008	—	—	—	—
语音类型	13.11	1.16	11.28	<0.001	19.09	3.77	5.07	<0.001	19.98	3.86	5.16	<0.001
目标语言：语音类型	—	—	—	—	−6.343	2.38	−2.66	0.008	−6.77	2.45	−2.76	0.006

较。若在已有模型中加入固定因子或两个因素的交互作用对方差估计的改善不显著, 则当前模型是最佳拟合模型。

首先进行汉汉组和英英组的方差分析, 将母语类别(汉汉组、英英组)和语音相关类型(音节相关、音素相关、语音无关)作为固定效应, 被试和项目作为随机效应对反应时进行线性混合效应模型分析。最优模型(见表 1 最左栏)包括语音相关类型主效应。增加目标语言未显著提高模型的拟合度, $\chi^2(1, 7877) = 3.25$, $p = 0.07$; 增加语音相关类型显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7877) = 126.33$, $p < 0.001$; 增加目标语言和语音相关类型的交互作用未提高模型的拟合度, $\chi^2(1, 7877) = 0.0021$, $p = 0.96$。

第二, 进行汉汉组和英汉组的方差分析, 将汉语类别(汉汉组、英汉组)和语音相关类型(音节相关、音素相关、语音无关)作为固定效应, 被试和项目作为随机效应对反应时进行线性混合效应模型分析。最优模型包括目标语言、语音相关类型主效应以及目标语言和语音相关类型的交互作用(见表 1 中间栏)。增加目标语言显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7859) = 4.96$, $p = 0.025$; 增加语音相关类型显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7859) = 4.94$, $p = 0.020$; 增加目标语言和语音相关类型的交互作用显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7859) = 7.08$, $p = 0.007$。

最后进行英英组和英汉组的方差分析, 将目标语言(英英组、英汉组)和语音相关类型(音节相关、音素相关、语音无关)作为固定效应, 被试和项目作为随机效应对反应时进行线性混合效应模型分析。最优模型包括语音相关类型主效应以及目标语言和语音相关类型的交互作用(见表 1 最右栏)。增加目标语言并未显著提高模型的拟合度, $\chi^2(1, 7842) = 0.46$, $p = 0.49$; 添加语音相关类型显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7842) = 64.39$, $p < 0.001$; 增加目标语言和语音相关类型的交互作用显著地提高了模型的拟合度, $\chi^2(1, 7842) = 7.63$, $p = 0.006$。

事后多重比较发现, 汉汉组发现音节效应显著, $\beta = -43.06$, $p < 0.001$, 音素效应不显著, $\beta = -5.52$, $p = 0.53$; 英汉组音节效应显著, $\beta = -20.60$, $p < 0.001$, 音素效应不显著, $\beta = -7.18$, $p = 0.34$; 英英组音节效应显著, $\beta = -20.65$, $p < 0.001$, 音素效应不显著, $\beta = -7.98$, $p = 0.22$。

3.2　ERP 分析

两组被试共收集 3 组脑电数据, 删除伪迹较多的试次, 汉汉组、英英组和英汉组分别删除了 3.8%, 6.6%。和 7.8%的数据。每名被试每个条件下有效叠加试次数均超过 50 次。

元分析研究表明图画呈现后的 250~450 ms 为词汇产生中的词汇选择和音韵编码阶段(Indefrey & Levelt, 2004), 我们重点关注了 200~500 ms 时间窗。为了考察英汉双语者二语加工的音韵编码单元起作用的时间进程, 从刺激出现之后的 200 ms 开始, 以 50 ms 为时间窗口递增, 对 3 组数据在各个时间窗口下进行了语音相关类型(音节相关、音素相关与语音无关), 半球(前、后)和偏侧化(左、中、右)的方差分析(结果见表 2)。

多重比较结果(均经过 FDR 校正)发现, 汉汉组在 250~300 ms 时间窗口, 前半球右侧音节效应显著 $F(1, 17) = 9.57$, $p = 0.021$, $\eta_p^2 = 0.36$, $f^2 = 0.75$; 前半球中央区域音节效应边缘显著 $F(1, 17) = 4.82$, $p = 0.08$, $\eta_p^2 = 0.22$, $f = 0.53$; 后半球右侧音节效应显著, $F(1, 17) = 12.19$, $p = 0.018$, $\eta_p^2 = 0.42$, $f = 0.84$。300~350 ms 时间窗口, 后半球右侧音节效应显著, $F(1, 17) =10.21$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.38$, $f = 0.77$。

英英组 200~250 ms 时间窗口, 后半球中右音素效应边缘显著, $F(1, 17) = 8.81$, $p = 0.05$, $\eta_p^2 = 0.34$, $f = 0.72$; $F(1, 17) = 5.76$, $p = 0.06$, $\eta_p^2 = 0.25$, $f = 0.58$。前半球左中音素效应边缘显著, $F(1, 17) = 4.89$, $p = 0.06$, $\eta_p^2 = 0.22$, $f = 0.54$; $F(1, 17) = 4.50$, $p = 0.06$, $\eta_p^2 = 0.21$, $f = 0.51$。

英汉组 200~250 ms 时间窗口发现, 前半球左

[2]根据方差分析效应量 Cohen's *f* 的评价标准, 0.10 为的低效应, 0.25 为中等效应, 0.40 为高的效应(Cohen, 1988)

表 2 目标语言在各时间窗口下不同干扰词语音相关类型，半球和偏侧化的方差分析

变异来源 ($df1$, $df2$)	200~250 ms		250~300 ms		300~350 ms		350~400 ms		400~450 ms		450~500 ms	
	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2
汉汉组												
类型(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
半球(1, 17)	—	—	8.02*	0.32	11.53*	0.40	5.15*	0.23	—	—	—	—
偏侧化(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×半球(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×偏侧化(4, 68)	—	—	—	—	—	—	—	—	3.83*	0.18	—	—
类型×半球×偏侧化(4, 68)	—	—	3.27*	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—
英英组												
类型(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
半球(1, 17)	9.54*	0.36	12.88*	0.43	8.84*	0.34	5.33*	0.24	—	—	—	—
偏侧化(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×半球(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×偏侧化(4, 68)	—	—	2.72*	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×半球×偏侧化(4, 68)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
英汉组												
类型(2, 34)	—	—	4.10*	0.24	3.42*	0.24	—	—	—	—	—	—
半球(1, 17)	13.72*	0.45	13.72*	0.45	9.35*	0.36	—	—	—	—	—	—
偏侧化(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	6.55*	0.28	6.66*	0.28
类型×半球(2, 34)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×偏侧化(4, 68)	—	—	3.27*	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—
类型×半球×偏侧化(4, 68)	—	—	3.17*	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—

注：* $p < 0.05$, —表示不显著, p 值均经过 FDR 校正。

侧和后半球左侧音素效应边缘显著, $F(1, 17) = 4.89$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.24$, $f = 0.56$; $F(1, 17) = 5.54$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.25$, $f = 0.57$。在 250~ 300 ms 时间窗口，前半球左中和右侧音素效应边缘显著, $F(1, 17) = 6.83$, $p = 0.067$, $\eta_p^2 = 0.29$, $f = 0.64$; $F(1, 17) = 6.007$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.26$, $f = 0.59$; $F(1, 17) = 5.38$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.24$, $f = 0.56$。图 2 从左至右分别表示了汉汉组(左)、英英组(中)和英汉组(右)在不同时间窗口内 3 种条件下在 Cz 电极点上的平均波形图，以及相应的时间窗口内的地形分布图。

3.3 整体地形图 ERP 模式分析(时空微态分割)

研究认为刺激相关的 ERP 信号之间整体电场并不是随机变化的，而是在转换为另一种形态稳定的地形之前，能够保持几十毫秒的稳定(Lehmann & Skrandies, 1984)，每一种时间空间地形分布图反映了某一个加工阶段或过程。这一方法是通过对比不同条件和组别之间一定时间内稳定的整体电场，对特定时间进程内相应的心理信息加工过程进行分析(Koukkou & Lehmann, 1987; Lehmann et al., 1998; Laganaro, 2014, 2017)。在确定不同条件下解释力最优的地形图数量过程中，利用整体解释变异(global explained variance, GEV)和持续时间(duration)进行统计分析。

首先对汉汉组与英英组做组间分析，进而对汉汉组和英汉组做组间分析，最后对英英组和英汉组做组内分析。比较汉汉组和英英组在不同语音相关条件之间的整体地形图差异时，我们利用了汉汉组和英英组内音节相关条件、音素相关条件以及语音无关共 6 个条件的总平均数据，根据以往研究表明，250~450 ms 为音韵编码阶段(Schriefers et al., 1990)，对图片呈现后的 200~500 ms 进行地形图分析，结果可以解释总变异的 91.5%。图 3A 呈现的是能够解释总平均 ERPs 最大变异的 4 个地形图成分，图 3B 为每个条件下总平均 ERPs 的整体场能量轨迹(global field power traces, GFP)，表明每个条件下每个地形图的位置和持续时间。分析表明汉汉组和英英组相比，具有不同的微态成分 2 和微态成分 3，表明汉语母语和英语母语者在音韵编码阶段具有不同的脑加工模式。

利用汉汉组和英汉组共 6 个条件的总平均数据，

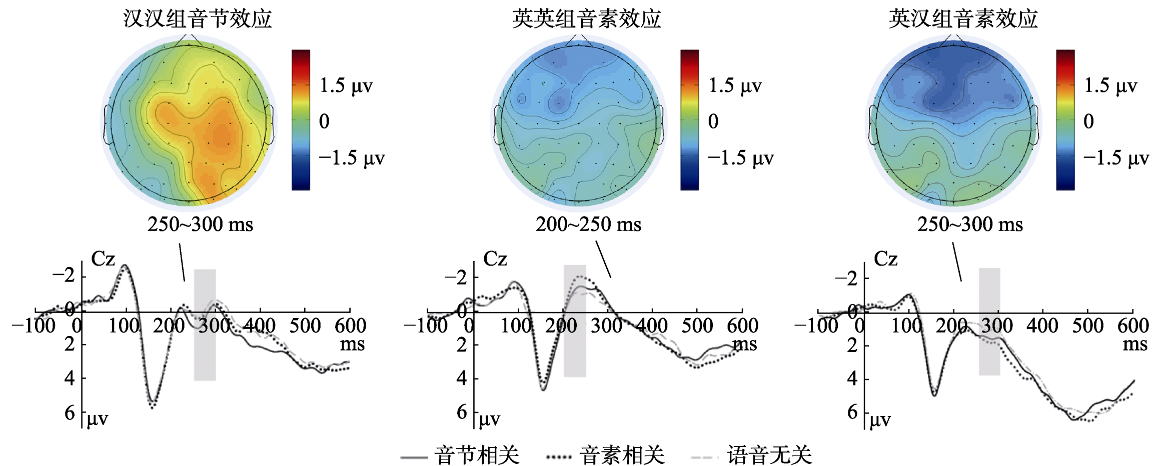


图 2　汉汉组(左)、英英组(中)和英汉组(右)在不同时间窗口内 3 种条件下在 Cz 电极点上的平均波形图以及相应的时间窗口内的地形分布图

注：波形图中的阴影部分表示的是统计达到显著的效应($p < 0.05$), 分别为汉汉组音节效应(250~300 ms) (左)、英英组音素效应(200~250 ms) (中)和英汉组音素效应(250~300 ms) (右)。

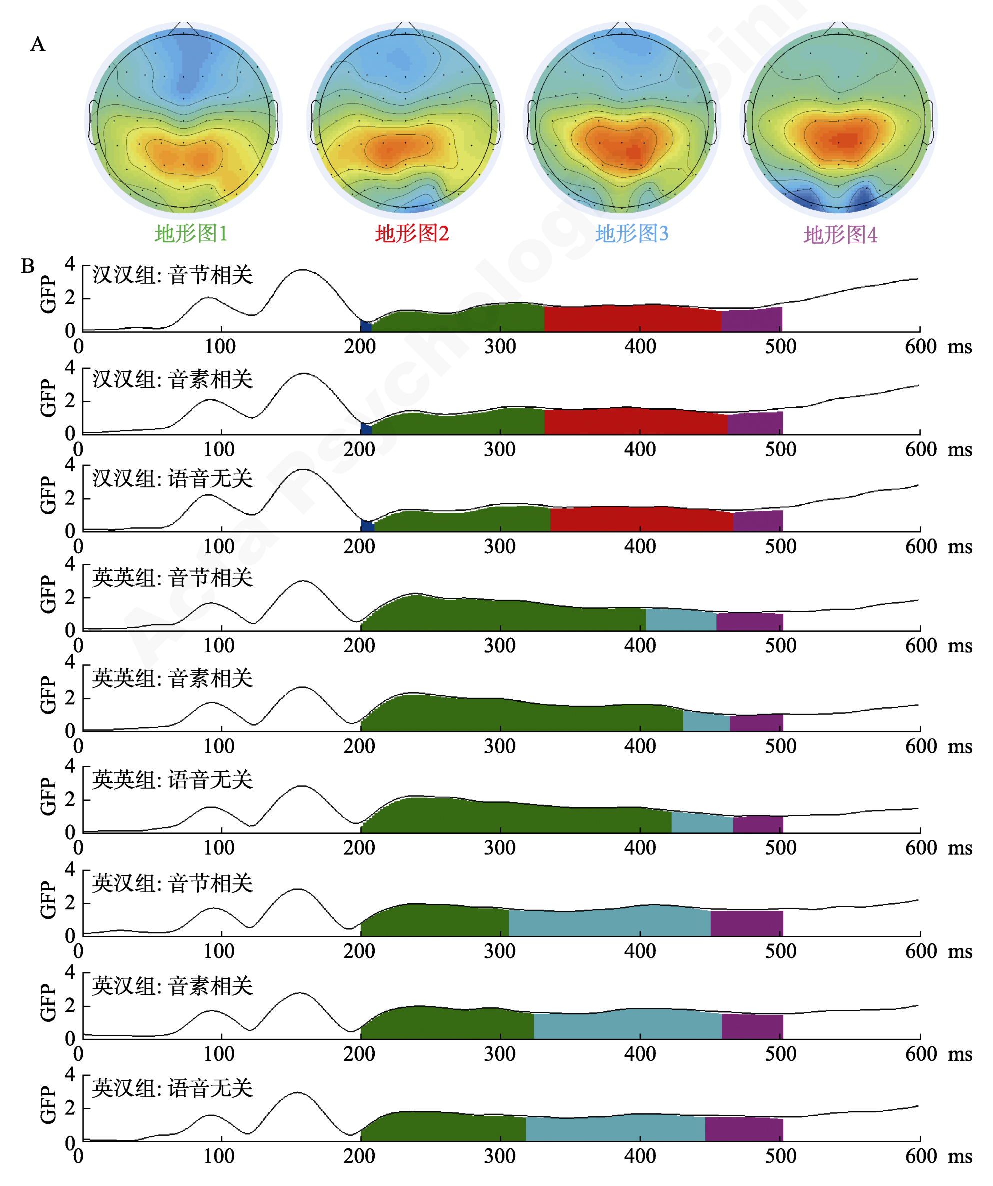


图 3　汉汉组、英英组与英汉组各个条件下总平均 ERPs 的 GFP 和微态分割图

同样从图片呈现后 200 ms 到 500 ms 进行时空微态分割分析，结果可以解释总变异的 93.2%。分析表明英汉组与汉汉组相比，相同微态成分 1 和 4 组间主效应差异不显著(all $ps \geq 0.84$)，语音相关类型主效应和组间与语音相关类型交互作用都不显著(all $ps \geq 0.99$)。汉汉组在 334~460 ms 出现了与英汉组不同的微态成分 2，显著区别于英汉组的脑微态成分。

比较英汉组和英英组的脑地形图差异时，我们利用了英汉组和英英组共 6 个条件的总平均数据，同样从图片呈现后 200 ms 到 500 ms 进行时空微态分割分析，结果发现英英组与英汉组具有 3 个相同的微态成分，仅在成分 1 和 3 的开始时间和持续时间上存在差异，可以解释总变异的 93.2%。地形图 1、3 上组间主效应差异显著($p < 0.001$; $p < 0.001$)，语音相关类型主效应和组间与语音相关类型交互作用都不显著(all $ps \geq 0.99$)。在地形图 1 上英汉组都表现出比英英组更短的持续时间(音节相关 106 ms vs. 204 ms; 音素相关 124 ms vs. 230 ms)。地形图 3 上英汉组都表现出比英英组更长的持续时间(音节相关 144 ms vs. 50 ms; 音素相关 134 ms vs. 34 ms)。

综合时空微态分割结果可知，英汉组与英英组具有相同的微态成分，仅在成分持续时间上存在差异；英汉组与汉汉组既有相同也有不同的微态成分。这些结果说明英汉双语者在产生汉语时的脑功能激活状态更类似于英语母语者，而区别于汉语母语者，因此认为英汉双语者在加工汉语时表现出同化机制。

4 讨论

采用图词干扰范式，结合 ERP 技术以及时空微态分割分析法，我们考察了英汉双语者汉语作为第二语言的口语词汇产生中音韵编码过程的同化与顺应机制。反应时结果发现汉汉组、英汉组与英英组都出现显著的音节效应，未出现音素效应。ERP 结果发现，汉汉组表现出音节效应，英英组表现出音素效应，英汉组表现出音素效应(200~250 ms)，英汉组音素效应的模式与英英组更相似；时空微态分割分析发现英汉组与英英组微态成分完全相同(地形图 1，地形图 3，地形图 4)，仅在持续时间上存在差异，相比而言，英汉组与汉汉组具有不同的微态成分(地形图 2)。总体来说，英汉双语者二语产生的音韵编码过程中表现出的音素效应模式与英语母语者更为相似，与汉语母语者的神经模式存在显著不同，研究结果首次清晰地表明英汉双语者在二语口语产生的音韵编码过程中表现出母语同化机制。

在反应时上，汉语作为母语的口语词汇产生过程表现出音节效应，以及英语作为母语的口语词汇产生过程表现出音素效应，这与已有汉语和英语的研究结论一致(You et al., 2012; Zhang & Damian, 2019)。O'Seaghdha 等(2010)提出了合适单元假设(proximate units principle)来解释跨语言间音韵编码单元的不同。合适编码单元(proximate units)指的是激活词汇的词素之后首先被激活的音韵编码单元，这一假设认为音韵编码单元中最先选择的单元存在语言上的差异，印欧语系如英语或荷兰语中最先选择的单元是音素，而在汉语中则为音节。在印欧语系中，讲话者在选择音素后，结合节律信息进行音节化过程，从心理音节表中提取音节准备发音运动程序。汉语口语产生中讲话者则在选择音节后进一步分解为音素或音段信息(音韵编码阶段)，准备发音运动程序(语音编码过程)，最后进行发音输出口语产生的结果(发音阶段)。Roelofs (2014)利用计算机模拟的方法将合适单元假设加入到了口语词汇产生的 WEAVER 模型的参数设定中，验证了合适单元假说。我们通过跨语言比较的结果，为合适单元假说提供了支持证据。

英英组在反应时的结果上未表现出音素效应，这与已有发现不一致。我们猜测可能的原因有：第一，实验设计中同时包括了音节相关、音素相关和无关，因为音节相关中语音重叠的程度大于音素相关，所产生的促进效应较大，而音素相关所产生的促进效应较小，这在一定程度上掩蔽了音素相关所引起的效应，使得相对较为微弱的音素效应不能达到显著水平。同时，本研究发现英英组的反应时长于汉汉组，潜伏期变长也有可能使得音素效应消失。第二，这可能是由于英汉双语者的外部语言环境是汉语所导致的。以往就有研究在行为结果上发现，第一语言的加工过程会受到第二语言学习迁移的影响。在考察粤语口语产生中音韵编码单元的研究，有研究者指出发现粤语中的亚音节启动效应可能是受到了被试英语二语经验的影响，导致粤语被试能够更加敏感的操作亚音节水平作为语音计划单元(Wong et al., 2012)。在以汉英双语者为被试的研究中同样发现在产生汉语过程中的亚音节启动效应(Verdonschot et al., 2013)，表明二语可能对母

语音韵编码单元产生影响。Nakayama 等(2016)也指出, 产生二语过程中利用母语或二语模式启动效应的大小与在二语国家停留的时间长短有关。本研究中参加实验的被试均在中国停留至少一年以上, 日常语言环境均为汉语, 因此在语言产生的行为反应时结果上发现了更类似汉语母语者的音节效应。

重要的是, 我们首次同时采用 ERP 波形分析和时空微态分割分析, 两类分析一致地表明英汉组的汉语音韵编码过程中表现出音素效应模式, 其模式更多地与英英组相似, 并非与汉汉组相似, 表现出二语加工中的同化机制。具体地说, ERP 波形分析发现汉汉组的音节效应出现在 250~350 ms 之间, 位于右侧半球, 时间进程与音节效应出现的时间相当(Wong et al., 2018; You et al., 2012; Zhang & Damian, 2019)。英汉组的音素效应出现在 200~300 ms 之间, 位于左侧半球前部区域, 英英组的音素效应出现在 200~250 ms 之间, 位于左侧半球前部区域, 这与印欧语系中发现的音素效应出现的时间一致(Timmer & Schiller, 2012; Timmer et al., 2014)。因此, 我们认为时间进程和波形分布的结果表明, 英汉双语者产生汉语过程中的音韵编码单元模式更类似于母语英语的音韵编码单元模式, 支持同化机制。

已有研究认为每一个空间地形分布图反映了特定的加工过程, 不同的微态成分对应于不同的加工过程(Koukkou & Lehmann, 1987; Lehmann et al., 1998; Laganaro, 2014, 2017)。我们的研究发现英汉组和汉汉组微态成分 1 的持续时间不存在显著差异, 而英汉组与英英组微态成分 1 的持续时间存在显著差异, 在地形图 1 上英汉组表现出比英英组更短的持续时间。根据元分析中各个阶段对应的时间进程(Indefrey, 2011), 微态成分 1 可能对应的是词汇选择阶段。由于英汉组和汉汉组产出的词汇均为汉语, 因此词汇选择阶段持续时间上没有显著差异, 而英汉双语者在产生汉语与英语过程中需要检索不同的词汇因此需要不同的持续时间。英汉双语者检索母语词汇反而比检索二语汉语词汇需要更长的时间。为什么? 根据抑制控制模型(Inhibitory Control, Green, 1998), 我们猜测是由于周围的语言环境为汉语, 双语者在这种环境下需要对母语进行抑制从而产生二语, 由于母语产出比二语更为流畅, 因而对母语需要更强的抑制, 也就导致再次进行母语的口语产生时需要消耗更大的认知资源解除抑制, 因此导致英语母语者检索母语词汇反而需要更长的时间(Gollan et al., 2011; Misra et al., 2012)。

在英汉组与英英组中具有相同的微态成分 3, 均出现在图画呈现后的 300 ms 之后, 这一时间窗口对应于口语词汇产生中的音韵编码阶段(Indefrey, 2011), 而这一微态成分在汉汉组中未出现, 这一成分可能与音素提取有关, 音韵编码过程在英汉组和英英组具备相似的时空模式, 表明英汉双语者在二语加工过程中采用了与母语相似的加工机制, 表现出同化加工机制。在微态成分 3 的持续时间上, 英汉组都表现出比英英组更长的持续时间。对于双语者来说, 在二语音韵编码过程中仍然要比一语音韵编码消耗更大的认知努力, 表现出二语加工中需要更长的持续时间进行音韵编码过程。

在汉汉组中, 出现了一个特异的微态成分 2, 其时间进程大约在图画出现后的 350 ms 左右, 而这一微态在英汉组与英英组中都未出现。根据这一对比, 我们猜测这一成分与汉汉组中的音节提取有关。这一时间窗口与已有有关汉语口语词汇产生中音节提取的时间进程基本一致。Zhang 和 Damian (2019)发现的音节效应位于图画呈现后的 300~450 ms 之间(类似的时间窗口见 Wang et al., 2018)。因为此类分析在已有同类研究中很少使用, 上述研究发现还需要更多的实验进行验证。

综上, 本研究的发现一致地表明英汉双语者在作为二语的汉语口语词汇产生过程中采取了与母语类似的加工模式, 表现出同化加工机制。这与已有的一些发现一致。研究者发现藏汉双语者的汉语产生在反应时结果上的模式与藏语更为相似, 同样表现出同化机制(王星星, 2013)。同样在印尼语-汉语者出声阅读汉字的 fMRI 研究(Tian et al., 2019)中发现作为二语的汉语表现出与母语相似的脑区激活模式。

我们的发现与词汇识别中的结果不一致。元分析的结果(Liu & Cao, 2016)发现在词汇理解任务中, 如果二语的正字法透明度低于一语, 则表现为顺应的机制。为什么在词汇产生过程中出现了完全不同的加工机制? 一个可能的原因是任务不同导致加工机制不同。在图画词汇干扰任务中, 被试主要的任务是口语命名图片, 同时忽略干扰字。在图片命名任务中, 人们可以不用通达目标字的正字法信息(Zhang et al., 2007; Damian & Bowers, 2003), 而单词的阅读过程从视觉正字法信息加工开始, 也涉及到单词语音和语义的提取(陈宝国 等, 2006)。汉语作为表意文字, 侧重形音对应的音节发音记忆, 重

视字形分析的作用(Zhao et al., 2012), 视觉呈现的汉字识别过程必然受到正字法信息的影响。已有研究发现汉语作为第二语言进行加工时更多表现出与母语不同的加工模式, 表现出顺应机制。由于实验任务中对正字法信息依赖的要求不同, 英汉双语者对于词汇产生和词汇理解过程可能采用了不同的加工机制。

其次, 也有研究运用口语产生的任务, 得到结论认为双语者在二语熟练度较高的情况下, 能够采用顺应机制加工二语(Nakayama et al., 2016)。从双语者掌握的语言类型来看, Nakayama 等(2016)选取的是日英双语者, 日语中存在一定数量的印欧语系外来语, 通常用片假名书写。虽然在语音上经过了日本语化, 但是仍然与英语具有一定的相似性。这种母语中的英语外来语所带来的影响, 可能导致日语被试在学习英语过程中更加容易地采用英语的加工机制。而在以英汉双语者为被试的产生任务研究中(Zhao et al., 2012)发现, 被试在加工汉语过程中, 更多的运用母语的加工策略同化二语加工, 这比顺应二语本身的加工机制需要更少的认知努力。在产生汉语口语词汇产生的过程中, 我们也发现英汉双语者选取了消耗认知资源更低的类似于母语英语的加工方式, 即同化机制。

另一个可能影响的因素是二语的熟练度。Nakayama 等(2016)在研究中发现二语熟练度低的被试在产生二语词汇过程中倾向于使用一语的音韵编码单元, 而熟练度高的被试更倾向于采用二语音韵单元的加工模式。即二语熟练度低的被试倾向于采用同化机制, 而熟练度高的被试倾向于采用顺应机制。结合本研究进行对比, 参加本实验的被试为通过汉语水平考试(Hanyu Shuiping Kaoshi, HSK)成绩为 5 级及以上, 一般认为达到 HSK 5 级以上的被试其汉语熟练度较高(张凯, 2004)。我们在行为结果上发现了英语母语被试的表现类似于汉语母语者的加工模式, 这不同于脑机制上发现的同化加工模式。HSK 分为听力、阅读和写作三个部分, 主要考察的是对汉语的理解和运用能力, 并未系统地考察口语表达能力。这种行为和脑机制上的差异表现, 也更进一步说明, 根据被试的 HSK 成绩评价为语言理解熟练度较高, 不能保证口语产出能力也较高。而随着被试留学经验的丰富, 沉浸在二语环境中的时间增长, 汉语口语产生的熟练度增加, 被试可能在未来的脑机制上呈现出顺应的机制。目前从脑机制上得到的结果来看, 我们更倾向于认为支持同化机制。这也提示研究者需要从产生和理解两个方面考察留学生学习汉语的情况, 后续研究中需要区分被试口语产生能力的熟练度高低对音韵编码单元同化顺应机制的影响。

需要注意的是, 第一, 本研究中出现了行为和脑电结果的不一致: 英汉组在行为上在对母语英语的加工中表现出音节效应, 而脑电结果表现出音素效应。反应时是最终输出的结果反映, 会受到一系列加工过程的影响, 而脑电指标反映了实时的加工。基于已有研究的结果和本研究的分析, 我们倾向于认为英汉双语者在英语的加工中, 其神经层次上仍然保留了对英语音素的敏感性。而行为上未表现出音素效应的原因比较复杂, 比如同时呈现的语音相关条件, 以及作为二语的汉语对母语英语的影响, 需要在下一步的研究中进行考察。第二, 本研究中英汉组和英英组是同一组被试, 但所用实验材料不同, 而英汉组和汉汉组为不同组被试, 所用实验材料相同。在行为数据分析中我们采用混合线性模型同时纳入了被试随机变量和项目随机变量, 在考虑被试差异和项目差异影响的基础上考察了语言和语音相关类型对英汉组、英英组和汉汉组口语词汇产生过程的影响。本研究的实验设计遵循了已有对于双语者二语加工同化与顺应机制的研究逻辑, 与已有研究设计类似(例如 Tian et al., 2019; Timmer & Shiller, 2012; Sun et al., 2015)。Sun 等(2015)利用 fMRI 技术考察英汉双语者和汉英双语者在阅读母语与二语词汇过程中的脑区激活差异。其中将英汉双语者进行二语汉语词汇判断任务组(英汉组)与英汉双语者进行英语词汇判断任务(英英组)和汉英双语者进行汉语词汇判断组(汉汉组)分别进行组内和组间对比。结果表明, 与英英组相比, 英汉组更多的激活右侧额下回区域, 该脑区的激活与汉语加工相关。也就是说, 英汉双语者在词汇识别任务中采用了与二语类似的加工方式, 即表现出顺应机制, 这一结果与 Liu 和 Cao (2016)元分析中的结果相一致, 因此我们认为该机制受到组内或组间比较的影响较小。尽管如此, 由于双语者的两种语言之间存在相互影响的可能, 在考察二语加工同化与顺应的机制时, 更为理想的情况是 3 组被试分别为汉语单语组、英语单语组和英汉双语组, 比较英汉组与其他两组的加工机制是否相同。

5 结论

基于二语学习者在认知神经机制上的同化与

顺应假设，我们利用图词干扰范式，要求被试进行外显的口语词汇产生任务，ERP 波形分析和时空微态分割分析一致地表明英汉双语者二语汉语加工过程中采用了类似于英语母语的同化机制，且发生在音韵编码加工阶段的早期，为英汉双语者产生二语的加工机制提供了时间进程以及时空微态分割上的证据。

参 考 文 献

Baković, E. (2014). Phonemes, segments and features. *Language, Cognition & Neuroscience*, *29*(1), 21–23.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M., & Walker, S. C. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software, 67*, 1–48.

Brunet, D., Murray, M. M., & Michel, C. M. (2011). Spatiotemporal analysis of multichannel EEG: CARTOOL. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2,* 813870.

Cai, X., Yin, Y. L., & Zhang, Q. F. (2020). The roles of syllables and phonemes during phonological encoding in Chinese spoken word production: A topographic ERP study. *Neuropsychologia, 140*, 107382.

Chen, B. G., Wang, L. X., & Peng, D. L. (2006). The time course of graphic, phonological and semantic activation of Chinese high-and-low frequency characters. *Studies of Psychology and Behavior*, *4*(4), 252–257.

[陈宝国, 王立新, 彭聃龄. (2006). 高、低频汉字形音义激活的时间进程. *心理与行为研究, 4*(4), 252–257.]

Chen, J. - Y. (2000). Syllable errors from naturalistic slips of the tongue in Mandarin Chinese. *Psychologia*, *43*(1), 15–26.

Chen, J. - Y., Chen, T. - M., & Dell, G. S. (2002). Word - form encoding in Mandarin Chinese as assessed by the implicit priming task. *Journal of Memory and Language*, *46*(4), 751–781.

Chen, J. - Y., Lin, W. - C., & Ferrand, L. (2003). Masked priming of the syllable in Mandarin Chinese speech production. *Chinese Journal of Psychology*, *45*(1), 107–120.

Chen, J.-Y., O'Séaghdha, P. G., & Chen, T.-M. (2016). The primacy of abstract syllables in Chinese word production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *42*(5), 825–836.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Damian, M. F., & Bowers, J. S. (2003). Effects of orthography on speech production in a form-preparation paradigm. *Journal of Memory and Language, 49*(1), 119–132.

Damian, M. F., & Martin, R. C. (1999). Semantic and phonological codes interact in single word production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *25*(2), 345–361.

Das, T., Padakannaya, P., Pugh, K. R., & Singh, N. C. (2011). Neuroimaging reveals dual routes to reading in simultaneous proficient readers of two orthographies. *NeuroImage*, *54*(2), 1476–1487.

Dell, G. S. (1986). A spreading activation theory of retrieval in sentence production. *Psychological Review*, *93*(3), 283–321.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9–21.

Fabbro, F. (1999). *The neurolinguistics of bilingualism*. UK: Psychology Press.

Feng, C., Yue, Y., & Zhang, Q. F. (2019). Syllables are retrieved before segments in the spoken production of Mandarin Chinese: An ERP Study. *Scientific Reports*, *9*, 11773–11781.

Ferrand, L., Segui, J., & Grainger, J. (1996). Masked priming of word and picture naming: The role of syllabic units. *Journal of Memory and Language*, *35*(5), 708–723.

Forster, K. I., & Davis, C. (1991). The density constraint on form-priming in the naming task: Interference effects from a masked prime. *Journal of Memory and Language*, *30*(1), 1–25.

Gollan, T. H., Sandoval, T., & Salmon, D. P. (2011). Cross-language intrusion errors in aging bilinguals reveal the link between executive control and language selection. *Psychological Science*, *22*(9), 1155–1164.

Indefrey, P. (2011). The spatial and temporal signatures of word production components: A critical update. *Frontiers in Psychology, 2*, 255.

Indefrey, P., & Levelt, W. J. M. (2004). The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition*, *92*(1-2), 101–144.

Jamal, N. I., Piche, A. W., Napoliello, E. M., Perfetti, C. A., & Eden, G. F. (2012). Neural basis of single-word reading in Spanish-English bilinguals. *Human Brain Mapping*, *33*(1), 235–245.

Katz, L., & Frost, R. (1992). The reading process is different for different orthographies: The orthographic depth hypothesis. In R. Frost & L. Katz (Eds.), *Orthography, phonology, morphology, and meaning* (pp. 45–66). Amsterdam: Elsevier.

Kinoshita, S., & Woollams, A. (2002). The masked onset priming effect in naming: Computation of phonology or speech planning? *Memory & Cognition, 30*, 237–245.

Koenig, T., Kottlow, M., Stein, M., & Melie-García, L. (2011). Ragu: a free tool for the analysis of EEG and MEG event-related scalp field data using global randomization statistics. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2011*, 938925.

Koenig, T., Stein, M., Grieder, M., & Kottlow, M. (2014). A tutorial on data-driven methods for statistically assessing ERP topographies. *Brain Topography*, *27*, 72–83.

Koukkou, M., & Lehmann, D. (1987). An information-processing perspective of psychophysiological measurements. *Journal of Psychophysiology*, *1*(2), 109–112.

Laganaro, M. (2014). ERP topographic analyses from concept to articulation in word production studies. *Frontiers in Psychology*, *5*, 493.

Laganaro, M. (2017). Inter-study and inter-Individual consistency and variability of EEG/ERP microstate sequences in referential word production. *Brain Topography*, *30*, 785–796.

Lehmann, D., & Skrandies, W. (1984). Spatial analysis of evoked potentials in man - A review. *Progress in Neurobiology*, *23*(3), 227–250.

Lehmann, D., Strik, W. K., Henggeler, B., Koenig, T., & Koukkou, M. (1998). Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: I. Visual imagery and abstract thoughts. *International Journal of Psychophysiology*, *29*(1), 1–11.

Levelt, W. J. M., Roelofs, A., & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*(1), 1–75.

Liberman, I. Y., Liberman, A. M., Mattingly, I. G., & Shankweiler, D. (1980). Orthography and the beginning reader. In J. Kavanaugh & R. Venezky (Eds.), *Orthography,*

reading, and dyslexia, (pp. 81–101). Baltimore: University Park Press.

Liu, H. S., & Cao, F. (2016). L1 and L2 processing in the bilingual brain: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Brain and Language*, *159*, 60–73.

Malouf, T., & Kinoshita, S. (2007). Masked onset priming effect for high-frequency words: Further support for the speech-planning account. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(8), 1155–1167.

Meyer, A. S., & Schriefers, H. (1991). Phonological facilitation in picture-word interference experiments: Effects of stimulus onset asynchrony and types of interfering stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17*(6), 1146–1160.

Michel, C. M., Thut, G., Morand, S., Khateb, A., Pegna, A. J., de Peralta, R. G., … Landis, T. (2001). Electric source imaging of human brain functions. *Brain Research Reviews*, *36*(2-3), 108–118.

Misra, M., Guo, T. M., Bobb, S. C., & Kroll, J. F. (2012). When bilinguals choose a single word to speak: Electrophysiological evidence for inhibition of the native language. *Journal of Memory & Language, 67*(1), 224–237.

Murray, M. M., Brunet, D., & Michel, C. M. (2008). Topographic ERP analyses: A step-by-step tutorial review. *Brain Topography*, *20*, 249–264.

Nakayama, M., Kinoshita, S., & Verdonschot, R. G. (2016). The emergence of a phoneme-sized unit in L2 speech production: Evidence from Japanese-English bilinguals. *Frontiers in Psychology*, *7*, 175.

Nelson, J. R., Liu, Y., Fiez, J., & Perfetti, C. A. (2009). Assimilation and accommodation patterns in ventral occipitotemporal cortex in learning a second writing system. *Human Brain Mapping*, *30*(3), 810–820.

O'Seaghdha, P. G., Chen, J.-Y., Chen, T.-M. (2010). Proximate units in word production: Phonological encoding begins with syllables in Mandarin Chinese but with segments in English. *Cognition*, *115*(2), 282–302.

O'Seaghdha, P. G., Chen, J.-Y., & Chen, T.-M. (2013). Close but not proximate: The significance of phonological segments in speaking depends on their functional engagement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(1), E3.

Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., … Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, *3*, 91–96.

Perfetti, C. A., Liu, Y., Fiez, J., Nelson, J., Bolger, D. J., & Tan, L. H. (2007). Reading in two writing systems: Accommodation and assimilation of the brain's reading network. *Bilingualism: Language and Cognition*, *10*(2), 131–146.

Qu, Q. Q., Damian, M. F., & Kazanina, N. (2012). Sound-sized segments are significant for Mandarin speakers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(35), 14265–14270.

R Development Core Team. (2009). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Roelofs, A. (2014). A dorsal-pathway account of aphasic language production: The WEAVER++/ARC model. *Cortex*, *59*, 33–48.

Roelofs, A. (2015). Modeling of phonological encoding in spoken word production: From Germanic languages to Mandarin Chinese and Japanese. *Japanese Psychological Research*, *57*(1), 22–37.

Schiller, N. O. (2008). The masked onset priming effect in picture naming. *Cognition*, *106*(2), 952–962.

Schriefers, H., Meyer, A. S., & Levelt, W. J. M. (1990). Exploring the time course of lexical access in language production: Picture-word interference studies. *Journal of Memory and Language*, *29*(1), 86–102.

Snodgrass, J. C., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *6*(2), 174–215.

Sun, Y. F., Peng, D. L., Ding, G. S., Qi, T., Desroches, A. S., & Liu, L. (2015). The dynamic nature of assimilation and accommodation procedures in the brains of Chinese-English and English-Chinese bilinguals. *Human Brain Mapping*, *36*(10), 4144–4157.

Tan, L. H., Laird, A. R., Li, K., & Fox, P. T. (2010). Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta-analysis. *Human Brain Mapping, 25*(1), 83–91.

Tian, M. Y., Chen, B. G., Yang, H. Y., & Bi, H. Y. (2019). Chinese phonological consistency effect in native and second language learners of Chinese: An fMRI study. *Journal of Neurolinguistics*, *49*, 202–213.

Timmer, K., Ganushchak, L. Y., Ceusters, I., & Schiller, N. O. (2014). Second language phonology influences first language word naming. *Brain and Language*, *133*, 14–25.

Timmer, K., & Schiller, N. O. (2012). The role of orthography and phonology in English: An ERP study on first and second language reading aloud. *Brain Research*, *1483*, 39–53.

Verdonschot, R. G., Nakayama, M., Zhang, Q. F., Tamaoka, K., & Schiller, N. O. (2013). The proximate phonological unit of Chinese-English bilinguals: Proficiency matters. *PLoS One*, *8*(4), e61454.

Wang, H., Liu, J., & Chang, B. R. (1986). *Modern Chinese frequency dictionary*. Beijing, China: Beijing Language Institute Publisher.

[王还, 刘杰, 常宝儒. (1986). *现代汉语频率词典*. 北京: 北京语言出版社.]

Wang, J., Wong, A. W.-K., & Chen, H.-C. (2017). Time course of syllabic and sub-syllabic processing in mandarin word production: Evidence from the picture-word interference paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(3), 1147–1152.

Wang, J., Wong, A. W.-K., Wang, S. P., & Chen, H.-C. (2017). Primary phonological planning units in spoken word production are language-specific: Evidence from an ERP study. *Scientific Reports*, *7*(1), 5815.

Wang, L., Bastiaansen, M., Yang, Y. F., & Hagoort, P. (2011). The influence of information structure on the depth of semantic processing: How focus and pitch accent determine the size of the N400 effect. *Neuropsychologia*, *49*(5), 813–820.

Wang, X. X. (2013). *Phonological Facilitation in Mandarin Word Production: Evidence from Tibetan-Chinese Bilinguals*. Unpublished master's thesis. Hebei Normal University, China.

[王星星 (2013). *双语者第二语言产生中的语音效应*. 硕士学位论文. 河北师范大学.]

Wang, Y., Jongman, A., & Sereno, J. A. (2001). Dichotic perception of mandarin tones by Chinese and American listeners. *Brain and Language*, *78*(3), 332–348.

Wang, Y., Sereno, J. A., Jongman, A., & Hirsch, J. (2003). FMRI evidence for cortical modification during learning of mandarin lexical tone. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(7), 1019–1027.

Wong, A. W.-K., & Chen, H.-C. (2008). Processing segmental and prosodic information in Cantonese word production.

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, *34*(5), 1172–1190.

Wong, A. W.-K., & Chen, H.-C. (2009). What are effective phonological units in Cantonese spoken word planning? *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*, 888–892.

Wong, A. W.-K., Huang. J, & Chen, H.-C. (2012). Phonological units in spoken word production: Insights from Cantonese. *PLoS One*, *7*(11), e48776.

Wong, A. W.-K., Wang, J., Wong, S.-S., & Chen, H.-C. (2018). Syllable retrieval precedes sub-syllabic encoding in Cantonese spoken word production. *PLoS One*, *13*(11), e0207617.

Yekutieli, D., & Benjamini, Y. (1999). Resampling-based false discovery rate controlling multiple test procedures for correlated test statistics. *Journal of Statistical Planning and Inference, 82*(1-2), 171–196.

You, W. P., Zhang, Q. F., & Verdonschot, R. G. (2012). Masked syllable priming effects in word and picture naming in Chinese. *PLoS One*, *7*(10), e46595.

Yu, M. X., Mo, C., & Mo, L. (2014). The role of phoneme in Mandarin Chinese Production: Evidence from ERPs. *PLoS One*, *9*(9), e106486.

Yue, Y., & Zhang, Q. F. (2015). Syllable and segments effects in Mandarin Chinese spoken word production. *Acta Psychologica Sinica*, *47*(3), 319–328.

[岳源, 张清芳. (2015). 汉语口语产生中音节和音段的促进和抑制效应. *心理学报*, *47*(3), 319–328.]

Zhang, K. (2004). Some problems in HSK grading. *Chinese Teaching in the World*, (1), 71–80.

[张凯. (2004). HSK 等级分数问题. *世界汉语教学*, (1), 71–80.]

Zhang, Q. F., & Damian, M. F. (2019). Syllables constitute proximate units for Mandarin speakers: Electrophysiological evidence from a masked priming task. *Psychophysiology*, *56*(4), e13317.

Zhang, Q. F., Damian, M. F., & Yang, Y. F. (2007). Electrophysiological estimates of the time course of tonal and orthographic encoding in Chinese speech production. *Brain Research*, *1184*, 234–244.

Zhang, Q. F., & Wang, X. J. (2020). Primary phonological planning units in Chinese spoken word production: Evidence from an ERP study with implicit priming paradigm. *Acta Psychologica Sinica, 52*(4), 414–425.

[张清芳, 王雪娇. (2020). 汉语口语词汇产生的音韵编码单元：内隐启动范式的 ERP 研究. *心理学报*, *52*(4), 414–425.]

Zhang, Q. F., & Yang, Y. F. (2003). The determiners of picture-naming latency. *Acta Psychologica Sinica, 35*(4), 447–454.

[张清芳, 杨玉芳. (2003). 影响图画命名时间的因素. *心理学报, 35*(4), 447–454.]

Zhang, Q, F., & Yang, Y. F. (2005). The phonological planning unit in Chinese monosyllabic word production. *Journal of Psychological Science*, *28*(2), 374–378.

[张清芳, 杨玉芳. (2005). 汉语单音节词汇产生中音韵编码的单元. *心理科学, 28*(2), 374–378.]

Zhang, Q. F., & Zhu, X. B. (2011). The temporal and spatial features of segmental and suprasegmental encoding during implicit picture naming: An event-related potential study. *Neuropsychologia*, *49*(14), 3813–382.

Zhao, J., Li, Q. L., Wang, J. J., Yang, Y., Deng, Y., & Bi, H. Y. (2012). Neural basis of phonological processing in second language reading: An fMRI study of Chinese regularity effect. *Neuroimage*, *60*(1), 419–425.

Assimilation mechanisms of phonological encoding in second language spoken production for English-Chinese bilinguals

XIN Xin, LAN Tianyi, ZHANG Qingfang

(*Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

Abstract

Whether and how L2 spoken word production influences the similarities and differences between L1 network and L2 network is still controversial. Studies in language comprehension have documented that bilinguals present an accommodation or an assimilation pattern in L2 processing. For bilinguals, an accommodation pattern of L2 involves additional neural correlates than L1, while an assimilation one shows overlapping neural correlates with L1. Using electrophysiological measures, the present study thus aims to compare the patterns of L2 phonological encoding in spoken word production for bilingual speakers.

In a picture-word interference task, we combined the event-related potential (ERP) technique and spatio-temporal segmentation method to examine assimilation and accommodation mechanisms of L2 phonological encoding in English-Chinese bilinguals. Twenty-two native Mandarin speakers (13 males, mean age: 21.9) and 18 English-Chinese bilinguals (13 males, mean age: 22.9) participated in the study. The stimuli materials were designed into two languages (Chinese and English) and paired with three phonologically related conditions (syllabically related, phonemically related, and unrelated). Participants were required to ignore distracter word and name the picture as accurately as possible.

Behavioral data revealed a significant syllable effect in Chinese native speakers, and English-Chinese

bilinguals name pictures in both English and Chinese, showing that pictures paired with syllabically related distractors were named faster than those paired with unrelated distractors. ERP data showed that syllabically related distractors elicited a larger modulated ERPs than unrelated ones in the time window of 250~300 ms in native Chinese speakers, and phonemically related distractors elicited a larger waveform than the one in unrelated ones in the time window of 200~250 ms in English-Chinese bilinguals naming pictures in English or Chinese. Results of spatio-temporal segmentation revealed identical microstates (Map1、Map3 and Map4) in English-Chinese bilinguals naming pictures in English or Chinese. There was only a significant difference in microstate duration. However, Chinese native speakers exhibited a different brain microstate (Map2) when they named pictures in Chinese.

In sum, ERP and spatio-temporal segmentation results consistently indicated that English-Chinese bilinguals show an assimilation pattern in speaking Chinese (L2) network, in which the electrophysiological pattern is more similar to the one when they speak native English, rather than the one when native Chinese speakers speak Chinese.

Key words bilingualism, phonological encoding, assimilation, accommodation